

Téli szóásnak kitett, gőzölt vasbeton szerkezet tartósságának elvi kérdései**Szakmai beszámoló****1. A kutatás célja, a munkatervben vállalt kutatási program**

Azt már kb. 100 éve tudjuk, hogy a betonba a kezdőszilárdság növelése céljából bekevert kalcium-klorid a cement C_3A -tartalmával reakcióba lépve Friedel-só formájában megkötődik. A betonba a jégtelenítő téli szóással a kapillárisokon át bejutó konyhasó ($NaCl$) új igénybevételt jelent. Akkor hat, amikor a beton legalább 28 napos, a cement alkotói hidrátok formájában elhasználódtak. Azt is tudtuk a kísérlet kezdetén, hogy az ilyen beton is köt meg kloridiont, de közben bonyolult vegyi folyamatok játszódhatnak le.

A megkötött kloridion nem okozza az acélbetét korrózióját. Ezért a kutatás során alapkísérletekkel azt vizsgáltuk, hogy mitől, hogyan, milyen mértékben függ a kloridkötés.

A kutatás célja alábbi kérdések megválaszolása volt:

a) Milyen hatása van a szilárdítási módnak (természetes szilárdulás $20^{\circ}C$ -on, gőzölés $60^{\circ}C$, ill. $90^{\circ}C$ hőmérsékleten), és a klinkerásvány-gipsz aránya változásának a C_3A és a C_4AF klinkerásványok szilárdulási folyamatára sókezeléssel és anélkül?

b) Hogyan függ a cement fajtájától, a szilárdítási módtól és a sókezeléstől a cementek szilárdulási folyamata?

2. A kutatási terv

A kutatáshoz a következő cementeket szereztük be:

CEM I 42,5 N jelű (tiszt) portlandcement,
CEM I 32,5 R-S jelű (szulfátálló) portlandcement,
CEM III/A 32,5 N jelű (kohósalak) portlandcement.

E cementekből – a kötésvízzel – $10 \times 10 \times 50$ mm méretű hasábokat készítettünk, azokat különféleképpen kezeltük, 1, 7, 28, 56, 90 és 180 napos korban megvizsgáltuk a hasító-húzóerőt, a kötött kloridion mennyiségét derivatográffal, a keletkezett hidrát típusát röntgendiffraktométerrel.

A próbatestek kezelése:

1. *jelű*: 1 napos korban kizsaluzás, majd a vizsgálatig kb. $20^{\circ}C$ hőmérsékleten 100% rel. légnedvességű térben tárolás (exszikkátorban).

2. *jelű*: 1 napos korban kizsaluzás, azután 28 napos korig $20^{\circ}C$ hőmérsékletű, 100% páratartalmú térben tárolás. Ezt követően 5-ször – naponta váltakozva – 10%-os $NaCl$ -oldatban kezelés, ill. 100% páradús térben tárolás. Végül a vizsgálatig 100% páradús térben tárolás.

3. *jelű*: Bedolgozás után 2 órás pihentetés, majd gőzölés $60^{\circ}C$ hőmérsékleten 3 órán át, ezt követően a gőztérben lassú lehűtés. 1 napos korban kizsaluzás, majd a vizsgálatig $20^{\circ}C$ hőmérsékletű, 100% rel. páratartalmú térben tárolás.

4. jelű: Gőzölés 60°C-on 3-as kezelés szerint, majd 28 napos korig 20°C hőmérsékletű, 100% páratartalmú térben tárolás. Ezt követően 5-ször – naponta váltakozva – 10%-os NaCl-oldatban kezelés, ill. 100% páradús térben tárolás. Végül a vizsgálatig 100% páradús térben tárolás.

5. jelű: Ugyanaz, mint 3. jelű, de 90°C-os gőzölés.

6. jelű: Ugyanaz, mint 4. jelű, de 90°C-os gőzölés.

Mivel a vegyészmérnök a vegyi folyamatokban, az építőmérnök a szilárdságban gondolkodik, fontosnak tartottuk a szilárdság vizsgálatát. A 10x10x50 mm méretű próbatestek lehetővé tették a hasítóhúzó-erő meghatározását. A nyomószilárdságot 20 mm élhosszú kockákon, próbatesthez illesztett gömbcsuklók közbeiktatásával határoztuk meg. 2-2 hasítóerőt és 3-3 kockaszilárdságot tekintettünk egy-egy mérési eredménynek.

A C₃A és a C₄AF klinkerásványokból 10x10x50 mm méretű hasábokat készítettünk. Változtattuk a klinkerásvány-gipsz arányt 10/1-10/5-ig. A próbatestek kezelése és vizsgálata a cementekével egyezett meg. Esetenként 1-1 hasítóerőnk volt a C₃A-ból és 2-2 a C₄AF-ből készített próbatesteken.

3. A klinkerásványok kloridkötése

1. táblázat: A sókezelt C₃A, illetve C₄AF tartalmú minták Friedel-só formájában (C₃A/F·CaCl₂·H₁₀) kötött kloridion tartalma, a minták izzítási maradékára vonatkoztatva, a minták kora 90 nap, m%

A C ₃ A, ill. C ₄ AF és gipsz tömegaránya	20°C-on szilárdult minták		60°C-on gőzölt minták		90°C-on gőzölt minták	
	C ₃ A	C ₄ AF	C ₃ A	C ₄ AF	C ₃ A	C ₄ AF
10/0	2,9	3,1	4,2	2,2	5,0	2,2
10/1	2,4	3,0	4,1	2,8	5,3	3,6
10/2	2,3	2,8	5,6	3,0	5,6	3,3
10/3	2,1	2,9	5,9	3,0	5,0	3,4
10/4	2,1	2,1	4,3	3,3	4,1	3,6
10/5	1,9	2,0	3,4	3,5	4,0	3,6

Eredmények (1. táblázat):

- Az alacsony gipsztartalmú (10/1, 10/2 és 10/3 aluminát/gipsz tömegarányú) mintákban keletkezik több Friedel-só, valamint a kimutatott Kuzel-só a kémiaileg kötött formában jelenlevő kloridtartalom további növekedését eredményezi ezekben a mintákban;
- A C₃A esetén a 60°C-os, C₄AF esetén a 90°C-os hőérlelt, gipsztartalmú mintákban keletkezik több Friedel-só;
- A hőérlelt, gipsztartalmú mintákban keletkezik több Friedel-só, mint a természetes szilárdulású mintákban;

- A C_3A klinkerásvány hidrátfázisaiból több Friedel-só keletkezik, mint a C_4AF hidrátfázisaiból.

4. A klinkerásványok hasítóereje

A gipszmentes mintán mért átlagos hasítóerők sókezelést követően mindhárom szilárdítás esetén jelentősen nőttek a sókezelés előttihez képest (28 napos), valamint az azonos korú sókezelés nélkül tároltakéhoz képest. A gipszmentes mintában a szilárdítási mód nem befolyásolta az átlagos hasítóerő alakulását. A gipszmentes C_3A , illetve C_4AF minták hasítóerőinek növekedése a sókezelést követően a hidrogránátból keletkező klorid-AFm fázis, Friedel-só nagyobb térigényével magyarázható. A Friedel-só sűrűsége kisebb, mint a hidrogránaté, így a porozitáscsökkenéssel járó átalakulás a hasítóerő növekedését okozta.

A gipsztartalmú mintákban az átlagos hasítóerők mind a sókezelt, mind a sókezelés nélkül tárolt mintákat tekintve a 10/1, valamint 10/2 C_4AF /gipsz összetételű, hőérlelt mintákban alakulnak a legkedvezőbben. 10/3, 10/4 és 10/5 hőérlelt minták hasítóereje ugyan 180 napos korig általában nőtt, de ezek az értékek a sókezelést követően jelentősen romlottak, vagy mérhetetlenné váltak. 10/3 és 10/4 összetétel esetén, a sókezelést követően a 90°C-on gőzölt minta átlagos hasítóereje romlott nagyobb mértékben. 10/5 összetétel esetén, a sókezelést követően mindkét gőzölt minta szilárdságát gyakorlatilag elvesztette, szétesett. A kisebb gipszadagolásnál, a 10/1 és 10/2 aluminátklinker/gipsz tömegarányú pépmintákban a kloridion megkötés főként a szulfáttartalmú klorid-AFm vegyületet, a Kuzel-sót hozza létre, így a másodlagos ettringit képződés nem, vagy csak kis mértékben figyelhető meg. Ez magyarázza azt, hogy ezekben a mintákban nem figyelhető meg jelentős szilárdságcsökkenés. A nagyobb gipszadagolásnál, a 10/3, 10/4 és 10/5 aluminátklinker/gipsz tömegarányú mintákban a Friedel-só képződése a szulfát felszabadulásával jelentős, duzzadással járó másodlagos ettringit képződéshez vezet. Ez az oka a megfigyelhető szilárdságvesztésnek.

Ugyan minden vizsgálati korban csak 1-1. ill. 2-2 párhuzamos hasítási eredmény volt, az ábrákból arra a következtetésre jutottunk, hogy a szilárdság csak akkor csökken, ha a C_4AF /gipsz tömegaránya a mintában eléri a 10/4 és 10/5 arányt. Továbbá az is megállapítható, hogy a 10/0, 10/1, 10/2 és 10/3 mintában a gőzölés nem rontotta a hasítóerőt.

5. A cementek kloridkötése

A minták tömegére vonatkoztatott Friedel-só tartalomról – az egyes mérések izzítási veszteségeinek felhasználásával – kiszámítottuk a *cementek tömegére vonatkoztatott* (tehát izzítási veszteség mentes anyagra vonatkoztatott) kötött kloridion tartalmat (**2. táblázat**).

2. táblázat: A kémiai kötött kloridion tartalom a $C_3A \cdot CaCl_2 \cdot H_{10}$ (Friedel-só) tartalomából számolva a cementek tömegére vonatkoztatva, a minták kora 56, 90 és 180 nap, m%

Cement	A kötött kloridion-tartalom a cement tömegére vonatkoztatva, m%								
	20°C-on szilárdult			60°C-on gőzölt			90°C-on gőzölt		
	56 nap	90 nap	180nap	56 nap	90 nap	180nap	56 nap	90 nap	180nap
1. cement	0,60	0,89	0,76	0,47	0,90	0,84	1,13	0,90	0,98
2. cement	0,96	1,18	1,18	-	1,45	1,51	1,62	1,55	1,60
3. cement	0,51	0,66	0,63	0,50	0,68	0,76	0,71	0,82	0,93

A cementek kloridion megkötő képessége eltérő. A vizsgált cementek kloridion megkötő képessége (mind természetes szilárdulás, mind gőzölés esetén) csökkenő sorrendben a következő:

CEM III/A 32,5 N

CEM I. 42,5 N

CEM I 32,5 RS.

A kutatás szerint nemcsak a C_3A -nak és C_4AF -nek van kloridmegkötő képessége, hanem a kohósalaknak is.

A gőzölt cementpépek több kloridiont kötöttek meg, mint a gőzöletlenek, a 90°C hőmérsékleten gőzöltek többet, mint a 60°C-on gőzöltek.

6. A cementpépek szilárdsága

A különböző szilárdítási módok, a kétféle kezelés a hasító erőt egyik cementnél sem befolyásolták lényegesen.

Ahogy várható volt, a gőzölés a tiszta portlandcementek kockaszilárdságát lényegesen megnövelte. A sókezelt és kezeletlen próbatestek 180 napos szilárdsága természetesen szilárduló és 90°C hőmérsékleten közelítően azonos volt.

Csak a 60°C-on gőzölés csökkentette a sókezelt és kezeletlen cementkő szilárdságát a természetesen szilárduló és a 90°C-on gőzölt cementkő szilárdságához képest.